

氏 名	飯塚 俊明
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	シス博 第 59 号
学位授与の日付	平成 26 年 9 月 30 日
課程・論文の別	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題名	Study on Ignition System using Discharge Plasma for Thruster with Green Propellant （英文） （放電プラズマを用いた低毒性推進剤宇宙推進系の点火機構に関する研究）
論文審査委員	主査 教 授 竹ヶ原 春貴 委員 准教授 田川 俊夫 委員 准教授 佐原 宏典 委員 教 授 堀 恵一(宇宙航空研究開発機構)

【論文の内容の要旨】

人工衛星の姿勢制御には一液式推進剤を用いた化学推進機が使用されており、様々な推力レベルのものが研究開発そして運用されてきたが、その多くは 1N から 20N 程度の小型推進機である。その一液式推進剤にはヒドラジンが選ばれてきたが、急性毒性の高さおよび発がん性物質であることに起因する厳しい制限が設けられているために、特殊な防護服（SCAPE）などが必須になり実用上のコストが極めて高くなる。そのため、ヒドラジンに代わる一液式低毒性推進剤の模索が行われてきたが、それら一液式低毒性推進剤は高性能であるがゆえに推進機内が高温酸化雰囲気になるため、既存の固体触媒を用いた点火機構は短期間で急激に劣化し実用的ではないという問題点が過去の研究により明らかになった。そこで一液式低毒性推進剤を化学推進機に適用するために、触媒の耐熱性および耐酸化性の向上もしくは新型点火機構の研究開発が求められている。

上記で示したように、一液式低毒性推進剤を小型推進機に適用するためには点火機構に関する技術課題が存在する。本研究では、これらを解決すべく、純国産の一液式低毒性推進剤である SHP163 を用いた化学推進機の点火機構として宇宙空間でも安定して放電プラズマを生成させるために少量の希ガスを使用することに着目した。推進剤点火直前に少量の希ガスを電離させ放電プラズマを生成し、推進剤を放電プラズマに接触させることにより推進剤の点火を目指している。一液式低毒性推進剤の希ガスを用いた放電プラズマにより点火した前例がないため、希ガスを用いた放電プラズマによる推進剤の点火の可否を含めた反応性を評価する必要がある。本研究では、放電プラズマによる一液式低毒性推進剤

の反応性評価、放電プラズマを用いた新型点火機構の製作、その基本性能の取得、そして簡易的な寿命評価を行うことを目的とした。

本論文の構成を以下に示す。

第 1 章では、小型推進機に低毒性推進剤の適用に関する背景、これまでの研究、およびその技術課題を明確にし、研究目的を記述する。

第 2 章では、国産低毒性推進剤 SHP163 は Hydroxyl Ammonium Nitrate (HAN) 系に分類されるが、HAN 系が着目されるに至った経緯および現状を把握し、その課題を記述する。また、HAN 系の点火機構に関する研究は様々な研究機関で行われてきたが、その際に明らかになった技術課題を列挙し、放電プラズマを用いた点火機構の実用化のために満たすべき課題を明確にする。

第 3 章では、本研究にて用いた実験設備および計測装置に関して記述する。また、ガス流量測定方法に関しても記述する。

第 4 章では、希ガスをを用いた放電プラズマによる一液式低毒性推進剤の反応性評価の結果に関して記述する。静止した状態の SHP163 に対して放電プラズマを照射させることで反応性試験を行った。その結果、SHP163 の放電プラズマによる安定した点火を再現性良く実現した。また、推進剤の反応性は投入エネルギーの総量に比例し、エネルギー密度に大きく影響されることが判明した。

第 5 章では、放電プラズマを用いた点火機構の設計指針および製作した点火機構実験室モデル (Discharge Plasma Ignition system Laboratory Model、以下「DPI-LM」と呼称) の詳細を明示する。

第 6 章では、DPI-LM の基本性能および簡易的な寿命評価に関して記述する。本実験では、放電プラズマのガスにアルゴンおよびヘリウムを採用した。SHP163 およびガスの流量を変更し点火性能への影響評価を行った結果、DPI-LM による SHP163 の安定した点火を再現性良く実現した。さらに推進剤投入直前の DPI-LM 内部の放電プラズマ分布が点火結果に対して強く影響することを明らかにした。電極損耗調査による DPI-LM の簡易的な寿命評価を行った結果、電極使用時間 2000 秒時における電極質量は 0.1 %程度であることを明らかにした。

第 7 章では、以上のことを踏まえ、一液式低毒性推進剤の小型推進機への適用を目指して、放電プラズマ点火機構の有効性に関して結論を述べる。

【学位論文審査の要旨】

本学位審査に関して、公聴会および 2 回の審査会を開催し、論文の内容に関する慎重な審査を行った。審査結果について以下のように報告する。

人工衛星の姿勢制御には一液式推進剤を用いた化学推進機が使用されており、様々な推力レベルのものが研究開発そして運用されてきた。その推進剤にはヒドラジンが利用されてきたが、急性毒性の高さおよび発がん性物質であることに起因する取り扱いに対して厳しい制限が設けられているために、実用上にコストが極めて高い。そのため、ヒドラジンに代わる一液式低毒性推進剤の模索が行われてきた。それら一液式低毒性推進剤は高性能であるがゆえに推進機内が高温酸化雰囲気になるために、点火機構として既存の固体触媒を用いた場合は短時間で急激に劣化し実用的でないことが過去の研究により明らかになった。そこで、一液式低毒性推進剤を化学推進機に適用するために、触媒の耐熱性および耐酸化性の向上もしくは新型点火機構の研究開発が求められている。

このような背景から、本論文では、少量の希ガスを電離させ放電プラズマを生成し、推進剤を放電プラズマに接触させることにより推進剤を着火させる方法に着目した。一液式低毒性推進剤の、希ガスをを用いた放電プラズマによる点火は前例がないため、放電プラズマによる推進剤の点火の可否を含めた反応性を評価した。従来の固体触媒型に代わる点火機構として、放電プラズマを用いた点火機構を製作し、その点火特性を評価した。加えて、従来の固体触媒型に代わる点火機構として、放電プラズマを用いた点火機構を製作し、その点火特性を評価した。

本論文で得られた成果は以下の通りである。

- (1) 静止した状態の一液式低毒性推進剤 SHP163 に放電プラズマを照射し反応性評価を行い、放電プラズマによる SHP163 の安定した着火を再現性よく実現した。
- (2) 一液式低毒性推進剤の反応性は、投入エネルギーの総量に比例し、空間的なエネルギー密度が大きく影響することを明らかにした。
- (3) 放電プラズマを用いた点火機構 (Discharge Plasma Ignition system, DPI) を構築した。DPI による一液式低毒性推進剤 SHP163 の安定した点火を再現性良く達成した。
- (4) SHP163 および希ガス (ヘリウム・アルゴン) 流量を変更し、安定した推進剤の着火条件を明らかにした。加えて、安定した点火時における消費電力は推進剤流量に比例し、希ガス流量の影響は少ないことを確認した。
- (5) 推進剤流量および希ガス流量を変更し、推進剤点火遅れ時間を評価した。1N 相当の推進剤流量における最短点火遅れ時間は 30 ms 程度であり、平均 100 ms 程度であることを明らかにした。また、消費電力同様に、推進剤点火遅れ時間は推進剤流量の影響が支配的であることを確認した。
- (6) 電極損耗調査による DPI の簡易的な寿命評価を行った結果、電極使用時間 2000 秒時における電極質量減少は 0.1% 程度であり、ロケットフェイズを達成できることを明らかにした。

以上のように本論文は低毒性推進剤を用いた化学推進機の研究開発に大幅な進展を促す新たな技術開発に関するものであり、本論文において検討・評価された放電プラズマ点火機構は小型推進機のみならず大型や他の化学推進機へも広く活用できる

技術であり、工学的に重要な意義を有する。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するのに十分な価値があると認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、学内外から多数の出席者を得て多角的な討論を行った。また、論文審査委員により本論文および関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学識があるものと認め、合格と判断した。